

113年度氣候變遷創意實作競賽

決賽作品說明書

隊伍編號	05
隊伍名稱	神奇海綿
作品中文名稱	綠電淨水，「綿」延不絕
作品英文名稱	Magic Sponge with Green Water and Electricity Generation

參賽學校：國立台灣大學

系所名稱：化學工程所

指導老師：童國倫教授

團隊成員：葉侑叡、陳劭宇

目錄

一、作品摘要	Page 3
二、設計構想與運作說明	Page 4
(一) 構想來源	Page 4
(二) 動機與目的	Page 5
(三) 系統運作原理	Page 7
(四) 操作說明	Page 4
三、作品材料說明	Page11
四、創作特點	Page11
(一) 純化水技術比較	Page12
(二) 海綿科技和逆滲透比較之優勢	Page13
(三) 其餘應用	Page13
(四) 薄膜蒸餾於水處理之優點	Page13
五、作品應用範圍與發展潛能	Page14
六、工作分配	Page16
七、參考文獻	Page16
八、附錄	

一、作品摘要

我們以低成本、可規模化“廢棄物衍生海綿材料結合裝置設計，充分使用太陽能並以水筆仔為衍生靈感來進行海水淡化及發電，有助於氣候變遷減緩，且達到循環經濟及氣候正義，創造出臺灣好山好水，解決全世界水電危機。

Abstract

Using low-cost, scalable waste-derived sponge materials and device design, we fully utilize solar energy and draw inspiration from the Syngnathidae for seawater desalination and electricity generation. This helps mitigate climate change and achieves a circular economy and climate justice, preserving Taiwan's natural beauty and addressing the global water and power crisis.

二、設計構想與運作說明

(一)構想來源

隨著全球人口不斷增長以及全球暖化問題的加劇，淡水資源和能源供應的需求明顯已經失去了平衡。雖然節約水資源的措施十分重要，包括獎勵節水、推廣「一水二用」等政策，但在面對近年來突如其來的旱災時，單靠節水已無法解決問題。因此，產官學研開始關注如何「開源」，以取得更豐富且穩定的水資源供應。

觀察地球水資源分布（圖一），海水占了高達97%，而淡水僅占3%，淡水再利用已無法滿足現今的缺水問題。因此，提煉蘊藏量豐富的海水成為解決水資源缺乏的有效方式之一。

「海水淡化」技術因此成為國際上的熱門話題，全球已有150個國家正在發展相關技術，並有超過3億人需要淡化海水來滿足其日常需求。目前，海水淡化技術眾說紛紜，其中以蒸餾法和薄膜法為主流，包括早已商業化的多級閃蒸（multi-stage flash distillation, MSFD）蒸餾和反滲透（reverse osmosis, RO）薄膜法。蒸餾法具有較高的能源使用效率，可使用低階熱源作為驅動力，但設備體積和佔地面積較大；薄膜法佔地小，操作簡便，但需要高能耗且存在處理鹽度極限的滲透壓問題。然而，這兩種方法都存在共同的問題，包括巨大的能源消耗和高昂的運行成本。

在目前淡水資源嚴重缺乏的地區，尤其是開發中國家，發展海水淡化技術變得困難，對這些國家而言，使用現有技術發展海水淡化是一項艱鉅的任務，尤其是在這個過程中需要增加生產「電力」的功能，這使得問題更加複雜。



圖一、地球水圈比例



圖二、全球電力需求量預測

(二) 動機與目的

在 2050 淨零碳排目標中，水資源和能源是兩個至關重要的方面。水是生命之源，但全球缺水問題已經變得越發嚴峻。同時，電力是現代社會運轉的動力，而面臨缺電的情況可能將對經濟和生活產生巨大的影響。因此，找到一種同時解決缺水和缺電問題的創新方法是當務之急。

專案原創性:

團隊提出了一種全新的技術方案——生質能衍生海綿，作為一種全能 3D 太陽光熱蒸發器。這種蒸發器除了減少廢棄物的產生，並具有同時實現高通量海水淡化和發電的能力，為解決缺水和缺電問題提供了一個前所未有的整合解決方案。

我們使用了高太陽吸收率、分級多孔結構、抗鹽結垢能力和帶電離子通道的海綿複合材料。這種設計不僅實現了在高太陽輻照下的高效蒸發，還具有高抗鹽污染性，確保了長期穩定的操作。同時，透過多個海綿蒸發器的串聯，我們實現了整合系統，可以在連續太陽輻照下穩定生成足夠的飲用淡水和電力。

專案的重要性及影響性:

這個專案的重要性不僅體現在技術創新上，更在於其解決了全球兩大重要挑戰——氣候變化和水電短缺。我們能夠充分利用太陽能，同時實現高效的淡水生產和電力發生。這不僅意味著更可持續的水資源管理，還代表著為全球社會提供了一個可行的淨零碳排解決方案。對於缺水地區，這種技術能夠提供穩定的飲用水源，徹底改變人們對於水資源的依賴。對於能源短缺地區，則能夠提供可再生的電力，減緩對傳統能源的需求，實現更為環保的能源利用。

這項突破式創新解決方案的成功應用，將為全球社會帶來實質性的影響，不僅在技術層面上實現，還在環境、經濟和社會永續發展方面提供了具體可行的方案。因此，本專案的重要性和影響性不僅體現在科技創新上，更體現在全球永續發展目標實現的實際應用價值上。本團隊所研發的系統，將有助於氣候變遷減緩，且加入自然解方來達到循環經濟及氣候正義，更進一步的套入的碳循環的概念。



圖三、使用大自然五力，短期達到 SDG 的目標，未來將與公司打造 CRS 及 ESG

面對氣候及環境變遷、社會包容性降低和經濟發展衰退，身為化工所的研究者，運用光熱自身水輸送及電生產的背景及觀察日常生活樣品，將想像力轉化為創新的永續海綿設計，並激發解決水及電之無窮方案，將從 (1)市場到校園 ;(2)校園到校園;(3)市場推向市場;(4)校園到市場之循環，影響大家對純化水資源及產電技術觀念的改變，創造海綿城市。



圖四、海綿城市示意圖，藉由海綿讓 2050 淨零碳排不再遙不可及。

(三)系統運作原理

工作原理

蒸發一直在我們周圍發生，從冷卻我們身體的汗水到早晨陽光下燃燒的露水。但科學界對這普遍過程的理解可能一直存在缺失。近年來，一些研究人員困惑地發現，實驗中的水（被稱為水凝膠的海綿狀材料）蒸發的速度比用熱量或熱能解釋的速度要快。而——是理論最高利率的兩倍，甚至三倍或更多，更進行了一系列新的實驗和模擬，並重新審查了一些聲稱已經超出熱極限的研究小組的一些結果，得出了一個令人震驚的結論：在某些條件下，在水的界面處，光遇到空氣，不需要熱量就可以直接引起蒸發，而且實際上比熱更有效。

另外，研究人員表示，這種現象可能在霧和雲的形成和演變中發揮作用，因此將其納入氣候模型以提高其準確性非常重要。它可能在許多工業過程中發揮重要作用，例如太陽能海水淡化，或許可以取代首先將陽光轉化為熱量的步驟。新的發現令人驚訝，因為水本身不會吸收任何明顯程度的光。這就是為什麼你可以透過許多英尺深的乾淨水面清楚地看到下面的表面。因此，當研究團隊最初開始探索利用**太陽能蒸發進行海水淡化的過程時，他們首先將黑色吸光材料的顆粒放入盛有水的容器中，以幫助將陽光轉化為熱量。**

正當我思索著如何將太陽光轉為熱能時，煩惱的思緒湧上心頭，讓我決定去海邊走走。當我走在炙熱的沙灘上享受海風吹拂，正當要投入大海的懷抱時，「啊！好燙」原來是我踩到了佈滿黑色碎石堆的沙坑中。一時氣憤之下捧一把海水倒入沙坑中，就繼續往大海奔去。正當我沿著原路回來時，水竟然全部都消失了，只剩下閃閃發光的鹽結晶沉積於黑色的石頭上。此時正值研究低潮期的我靈光一閃，開始幻想著如果能把材料表面塗成黑色，並將其持續照射陽光，是否就能創造高溫來進行蒸發並收集潔淨的水？沒想到這樣的癡人說夢，卻開啟了研究的另一趟旅程——「**太陽能蒸發器**」。在這項新穎的技術中，**我們將全吸光黑色材料發想為植物衍生的水筆仔進行海水淡化，使用太陽光轉換為高溫，進行產水蒸氣收集，**結果發現，於材料續發熱甚至獲得了更高的產水率。此外，具有三圍孔洞的結構大幅地創造出孔洞來進行表面粗糙度工程，短時間就能創造出高溫海綿。

太陽能一直以來都是地球上無盡又潔淨的能源，結合同樣取之不盡的海水，就能大量生產生活中可使用的水資源**。**尤其是在許多開發中國家，特別是電力和水資源皆匱乏的區域，相信有朝一日這項光熱海水淡化技術一定能「發光發熱」！

藉由蒸發原理說明後，團隊更思考著**太陽能熱蒸發驅動的海水發電技術是一種利用太陽能轉換為熱能，進而通過海水蒸發產生電力的創新方法**（如圖五）。其工作原理可分為：

太陽能捕捉與轉化：首先，利用太陽能集熱板或其他太陽能吸熱材料來捕捉太陽輻射。這些材料將太陽輻射轉化為熱能，用於加熱覆蓋在其上的海水。

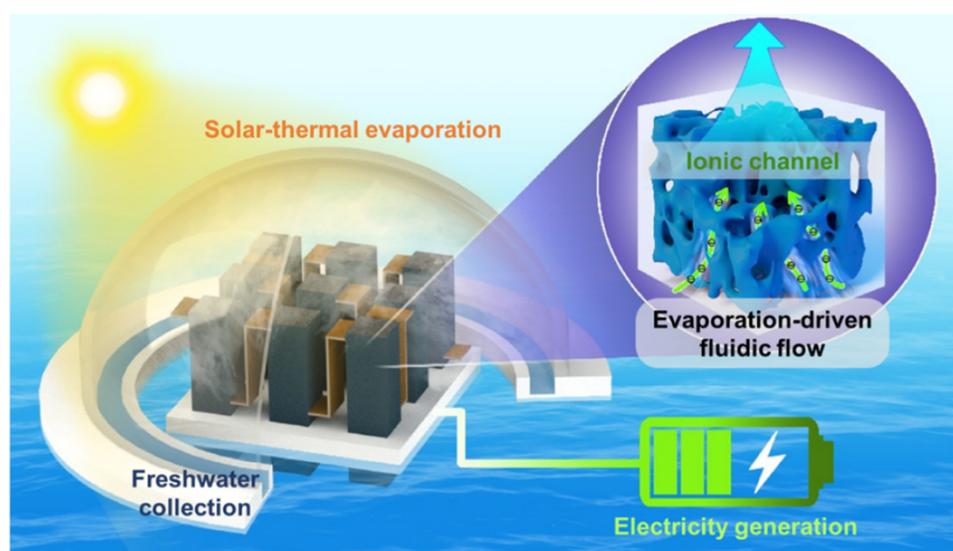
海水加熱與蒸發：集熱後的熱能直接傳遞給海水，使海水溫度升高。當海水達到一定溫度時，開始蒸發，形成水蒸氣。

壓力和蒸氣動力：蒸發過程中產生的水蒸氣會產生壓力。這種壓力可以被用來推動一個或多個蒸汽渦輪機。隨著蒸汽通過渦輪機，其動能轉化為機械能。

發電：將蒸發所創造出來的濃鹽差進行發電程序。

冷凝與水回收：蒸汽在渦輪機工作後會被導入冷凝器中冷凝，轉變回液態水。這些水可以再次被用於加熱過程，或者提供給其他需要清水的用途。

能量與資源循環：這種系統不僅產生電力，還有效地循環利用水資源和熱能，提高了能效並減少對新鮮水源的需求。



圖五、全功能高分流量太陽熱淡化和發電的3D聚合物海綿蒸發器。在太陽照射下，E-sponge海綿複合材料可以將入射太陽能轉化為局部熱量，將海水淡化成飲用水。同時，在海綿內部的離子通道中，蒸發驅動方向性流動，生成電力。

本項目的靈感源自於大自然的奇蹟 — 水筆仔植物。水筆仔，一種在鹹水環境中茁壯生長的紅樹林植物，以其獨特的生理機制淨化並吸收海水中的鹽分而著稱。這一天然現象啟發了我們思考：如果能模仿水筆仔的這種能力，是否就可以有效地進行海水淡化，從而解決全球日益嚴峻的淡水短缺問題？

隨著全球氣候變化和人口增長，淡水資源的短缺已成為世界各地面臨的重大挑戰。傳統的海水淡化技術雖然有效，但成本高昂且能耗巨大。因此，我們轉向自然尋求解決方案，希望通過模仿水筆仔的自然過濾機制，開發出一種既環保又經濟的海水淡化及發電新技術。

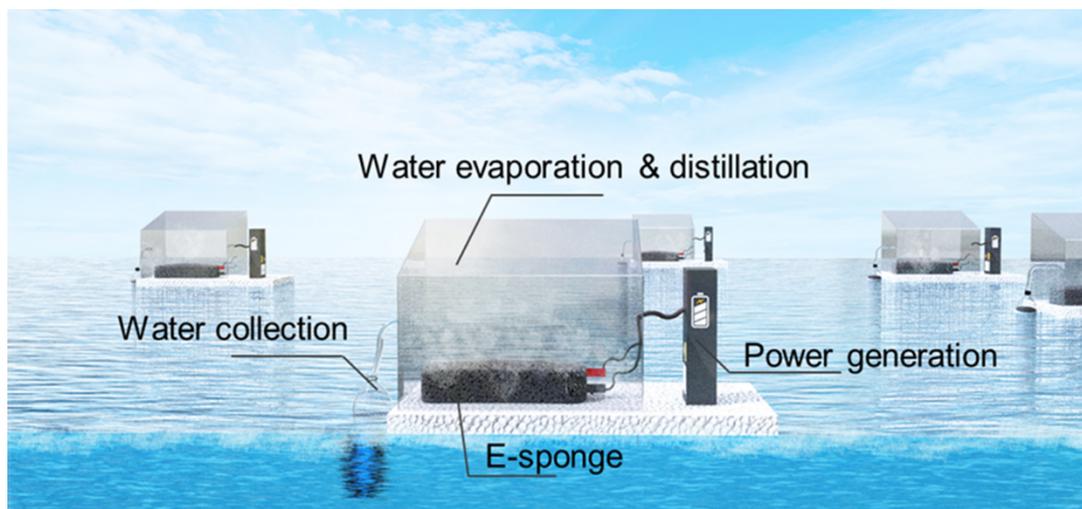
我們的核心動機是模擬水筆仔的自然濾水過程，開發一種可持續且高效的海水淡化和發電系統。利用水筆仔根部的結構特點，我們研發出一種新型的海綿材料。E-sponge tech 不僅能高效進行海水淡化，而且在這一過程中，通過光熱轉換離子濃度差原理產生電力，實現了雙重目標：提供潔淨飲用水和可再生能源。

我們的目標是創造一種創新的海水淡化系統，它能夠高效地轉換海水為淡水，同時減少能源消耗和環境影響。利用水筆仔衍生的材料和設計理念，我們的系統不僅能夠提供可持續的淡水及電力解決方案，還能夠在全球範圍內推動環境保護和資源可持續利用。通過這一創新項目，我們希望向世界展示，自然界中隱藏的解決方案能夠為人類帶來無限可能，幫助我們應對全球性的挑戰。



圖六、大自然水筆仔發想光熱海綿技術，來達到持續性產水及產電的功能。

(四) 操作說明:



圖七、裝置設計圖

在這項新穎的技術中，其主要目的是為了推廣到開發中國家，解決未來全世界水資源不均以及缺水危機的嚴重議題。為了因應低碳排的政策，因此我們使用了非常綠色且潔淨的太陽能來驅動且大幅降低淡化水資源所需的能耗;另一方面，廢棄塑膠的議題也層出不窮，秉持著循環經濟的口號，我們利用塑膠及螃蟹殼將其高值化，大規模的製成具光熱響應的薄膜，應用於光熱薄膜海水淡化及產電。

太陽能蒸發海綿科技繼承了傳統薄膜蒸餾本身的原理。同時，不需要任何電力當作驅動力，以太陽光源能有效的照射到材料表層，就可生成潔淨的水。在系統運行的過程中，薄膜受到太陽光的照射而溫度上升，因而加熱流經薄膜表層的海水;水相較於鹽類因蒸氣壓較低而形成蒸氣穿過多孔的薄膜，並於另一側裝置冷凝收集。在測試的過程中我們也發現不僅能使用海水，還能使用高濃度半導體離子廢水，突破目前逆滲透的困境，不再以電換水。從能耗的角度面思考，這項技術對於高階電能的依賴性相比於傳統的海水淡化技術有著大幅度下降的前景，對於要建置在能源及水資源皆匱乏的區域中，可說是非常具有邁入商業化的競爭力。

這項看似容易的技術，然而在研究的過程中卻遇到了不少的問題，除了要兼顧系統本身來達到最佳的節能設計外，材料的製作也要同時考量到成本以及規模化的潛力，更滿足循環經濟的角度。在發展出這項高度創新的無電產能，我們的確遇到了不少的困境，但是卻也發現了更多的突破點。

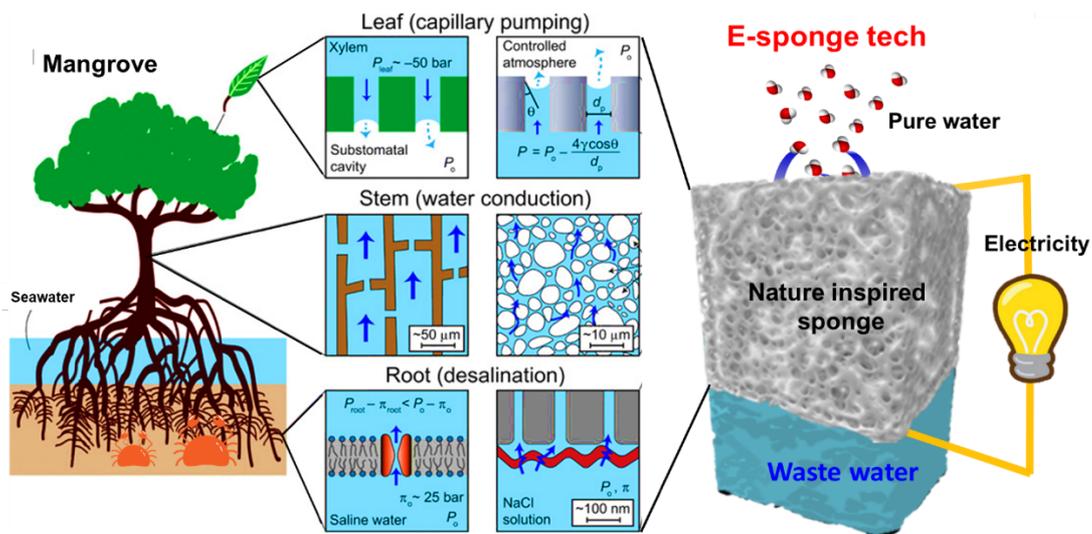
三、作品材料說明、特點及結果

生質能海綿製造與優化：(電漿系統建置直徑 50 公分之以塑膠及生質能海綿)

-材料特性：具有高太陽吸收率、抗鹽結垢能力和良好的電導性。

-海綿結構優化：設計多孔結構，以提高蒸發效率和淡水產量。

=使用無毒、短時間及低成本(約台幣 10 元即可製造一平方公尺面積)製程技術，減緩生質能廢棄物，增加新能源。



圖八、E-sponge 海綿來自水筆仔發想，結合根莖葉功能，包括毛細現象、水輸送及過濾鹽類之功能，達到綠電淨水之能源。結合了環境保護和可再生能源的優勢，為綠色電力和淨水提供了創新的解決方案。

太陽光熱蒸發器效能測試 (淡水河)：(30cm³ 立方體系統設計搭配海綿材料)

-海綿蒸發器串聯與系統集成：搭建數個，增加淡水產量、電力產生和儲存單元

-長時間測試：真實太陽條件下進行長時間運行，評估系統的穩定性和持久性。

-效能監控：建立效能監控系統，定期收集並分析淡水產量、電力輸出等數據。

=結合自然太陽光與綿延不絕的海水純化為 WHO 合格的飲用水(120 公升/天)及電力。

四、創作特點

(1) 純化水技術比較

一項技術是否能成功商業化，除了本身程序的可行性及穩定性，最重要的考量點莫過於成本了。在創造相同的產量時，又能有效降低成本，正是技術突破所面臨的考驗，因此我們以成本做為首要考量。總成本包含資本成本及運營成本，MSF 的設備體積非常巨大，考量到架設的費用以及所需的土地面積，需要非常龐大的資本成本。RO 的設備系統很複雜，雖然佔用空間較小，但資本成本也偏高。而 **E-sponge tech** 設備操作簡單，資本成本可大幅降低。營運成本主要考慮到實際運作時，持續消耗的支出，在此海水淡化程序中主要為能耗。

	能耗(度/立方公尺)		生產(度/立方公尺)
	電能	熱能	電能
MSF	2.5-5	40-120	-
RO	3-6	0	-
E-Sponge tech	0.15	4-40	10

表一、MSF、RO、E-sponge tech 運轉的能耗及產能

在這三種技術中，MSF 是最為耗能的，雖然 E-sponge tech 在熱能需求大於 RO 膜，但熱能取自於太陽，因此並不需要任何花費，相比之下，在能耗的成本是低於 RO 膜的，除此之外，產生的熱也可以循環再利用，創造的價值遠勝於另外兩種技術。

E-sponge tech 作為海水淡化程序，總成本將會是最低的。而且材料使用的是海洋生物甲殼類食品廢棄物衍生海綿。目前市面上海水淡化的成本為每噸 20 元，如果能實際應用 E-sponge tech 的技術，成本必然會大幅減少，預計可以降低成每噸 3 元。接著考慮其他影響海水淡化效能的因素，可以發現 E-sponge tech 相比重統計數是相當具有競爭力的。

綜合以上各項初步評估的數據及結果，與其他傳統技術相比，E-sponge tech 除了在海水淡化的費用可以降低許多，而且使用的能源是低階的能源，在使用上相當的省能。因此我們認為在未來，無論是在水資源缺乏的開發中國家，抑或是電力昂貴的地區，E-sponge tech 在海水淡化上都相當具有前景，能有效的解決水資源的問題，並從中產生電力。

表二、MSF、RO、E-sponge 各項特質比較

	多層板狀系統	逆滲透	海綿科技
能量來源	廢熱、再生能源	電能	廢熱、再生能源
能源使用效率	中	低	極高
能耗	極高	高	低
產水品質	高	中	極高
可處理鹽度範圍	高	中	高
積垢	不易	易	中
占地面積	高	低	低
總成本	高	中	低

(2)海綿科技於水處理之優點

- 1.高產水品質(High water purity)
- 2.高水回收率(High water recovery)
- 3.低結垢 (Less susceptible to fouling)
- 4.高鹽及其它離子阻檔率 (Potential of very high salt separation factors)
- 5.低前處理需求(Less chemicals for pre-treatment are required)
- 6.可利用低階能源(Low quality energy is easily incorporated)\
- 7.常溫及常壓操作 (Low pressure and Low Temperature required)
- 8.設備及操作方式簡單 (Simple operation and device)

(3)其餘應用

除了海水淡化外，還可以放置於濕度極高的地方，進行吸濕產水

蒸發使用傳統純化水概念，結合取之源源不絕的太陽能將無限的大海水資源進行純化，再到光熱材料設計及最後裝置設計，有完善的系統可應用於工業規模，不論是低價位的材料、可應用於大面積製造的材料製造至材料裝置設計等等，都可立即應用於現實生活。傳統的純化方式需高熱高電導致氣候變遷的影響，本團隊所研發的系統，將有助於氣候變遷減緩，且加入自然解方來達到循環經濟及氣候正義，更進一步的套入的碳循環的概念。

五、作品應用範圍與發展潛能

這項測試中，成效將可符合友善環境外，也創造水資源，使用綠色光電，減少能源消耗，更甚至於達到碳中和，帶給社會正面的力量，同時有效的減緩氣候變遷，最重要的是防治氣候變遷帶來的降雨分布的不均。若我們將全世界的陸地變為水庫，每個小時每平方公尺收集到 1.4L，不及於人類使用，若我們使用佔地面積小的海綿系統可創造出 150 倍的水源。

在經濟價值方面，和現今多數的 RO 系統相比，可省下 80% 的能源，並能創造出 10 倍的水源，整體降低 80% 製水的費用，同時創造出綠電。

(一) 推廣和應用：

- 研究成果發表：技術已經投稿至頂尖學術期刊上，提高該技術的知名度。
- 技術轉移：與政府機構、企業和相關利益方合作，推動技術轉移和實際應用。涵蓋了材料科學、工程設計、效能測試、系統集成和經濟分析等多個方面。



圖九、該項專案的成功實施將為氣候變化和永續發展目標提供一個創新的解決方案，並發展出 SDG、CSR、ESG 及 MOU 的模式與概念。

(二) 發展潛能

- (1)環境影響：對環境產生積極影響，降低淡水生產和電力生產的碳足跡，有助於實現淨零碳排目標。
- (2)社會影響：解決全球面臨的缺水和缺電問題，對於 SDG 有積極影響。
- (3)全球應用潛力：評估該技術在全球不同地區的應用潛力，尤其是在缺水地區和需要可再生能源的地區。
- (4)產學結合應用:除了實際應用於業界，本薄膜蒸餾系統也可成為環境教育推廣範本，作為公家機關及校園教材，增加社會大眾對於氣候變遷議題之重視，並了解簡單的改變也能對改善氣候變遷造成很大的幫助，同時培養學生的創新思考能力，提升整體附加價值。

(三)功能擴充性

本設備在設計上，各個部分的組件尺寸皆可以根據需求做出變化，並無一個固定的模組，透過這樣的彈性，可以讓使用者根據需求做出不同的功能增設，並因應近年來台灣推行的智慧城市等政策方案「數位國家·創新經濟發展方案(2017-2025年)」，本團隊的設備就增設了微電腦監測，系統以及隨時遠端偵測，了解薄膜狀況與趨勢，對水純化情況作更加精準的掌控。

(四)商業模式

租賃，客群為自來水公司或靠海國家，減少碳排量可用於轉售碳權或轉移至其他製程中，減少購買碳權的成本又可以有效減少碳排，達成 2050 零碳排的要求。



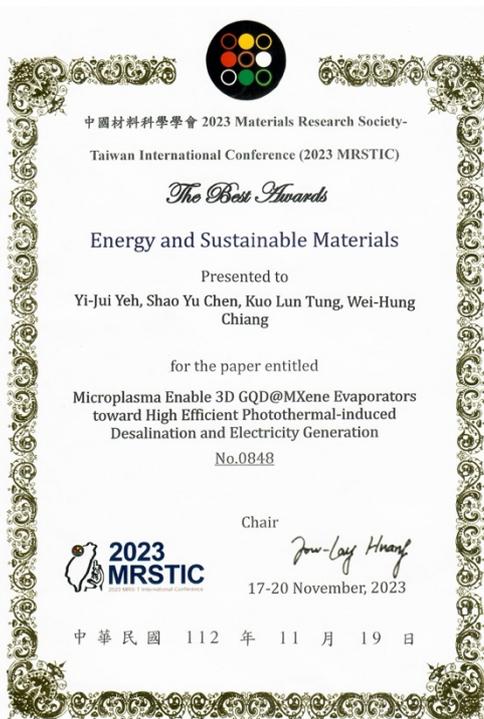
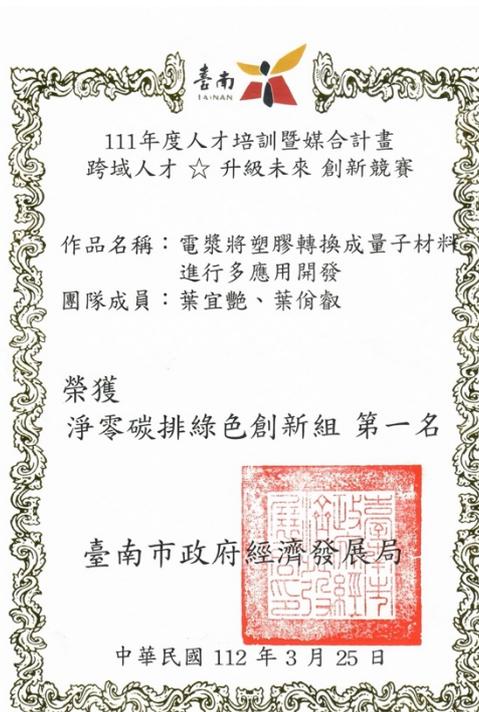
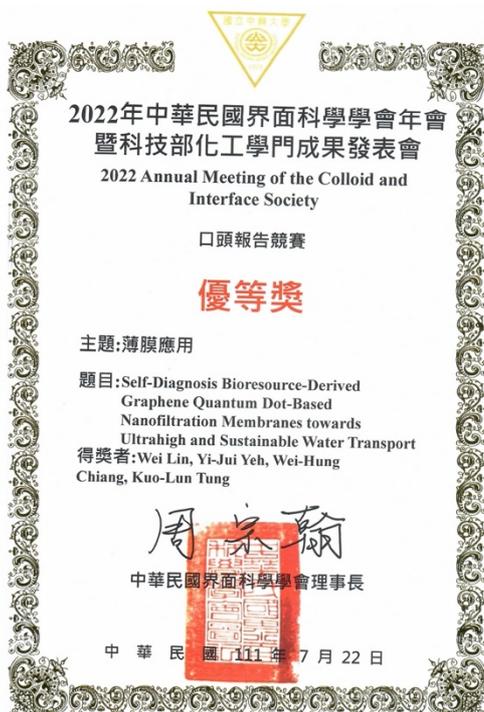
六、工作分配

隊員	主要工作
葉侑叡	海報製作、作品概念構思、作品說明書、執行實驗
陳劭宇	資料庫建置、影片拍攝、影片腳本製作

七、參考文獻

- [1]Huang, T., Alyami, M., Kashab, N.M., Nunes, S.P., Engineering membranes with macrocycles for precise molecular separations. *J. Mater. Chem. A*, 9, 18102-18128 (2021). <https://doi.org/10.1039/D1TA02982G>
- [2]Jiang, Z., Dong, R., Evans, A.M. et al. Aligned macrocycle pores in ultrathin films for accurate molecular sieving. *Nature* 609, 58–64 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05032-1>
- [3]Huang, T., Moosa, B.A., Hoang, P. et al. Molecularly-porous ultrathin membranes for highly selective organic solvent nanofiltration. *Nat Commun* 11, 5882 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19404-6>
- [4] Yi-Jui Yeh, Jinn P. Chu, Jhen-De You, Ting-Hao Chang, Jr Rong Liou, Wei-Hung Chiang, Pakman Yiu, Chun-Hway Hsueh, Yu-Lin Shen, Kuo-Lun Tung, Tunable nanostructured stainless-steel coating for high-selective and high-permeable separation membranes for oil/water emulsions, *npj Clean Water*, 6, 17 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00237-x>.
- [5]https://udn.com/news/story/6928/7103421?from=udn_ch2cate11195sub6928_pulldownmenu_v2
- [6] 全國環境水質監測資訊網-地下水監測法令依據

八、附錄



(113)化工獎字第 113024 號

銅 獎

陳劭宇君參加臺灣大學化學工程學系
第四屆碩博士畢業論文展，經評選獲得

獎金壹仟元

表現優異 榮獲優勝
特頒此狀 以資證明



中華民國 1 1 3 年 4 月



(113)化工獎字第 113013 號

金 獎

葉侑歡君參加臺灣大學化學工程學系
第四屆碩博士畢業論文展，經評選獲得

獎金伍仟元

表現優異 榮獲優勝
特頒此狀 以資證明



中華民國 1 1 3 年 4 月

